



TUGAS AKHIR - TF 141581

**OPTIMASI PROSES PRODUKSI PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS
BUMI JENIS *SINGLE-FLASH* DENGAN
METODE *GENETIC ALGORITHM***

MUHAMMAD BINTANG ADHITYA
NRP. 2413 100 093

Dosen Pembimbing
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT - TF 141581

**OPTIMIZATION OF SINGLE-FLASH
GEOTHERMAL POWER PLANT
PRODUCTION PROCESS USING GENETIC
ALGORITHM**

MUHAMMAD BINTANG ADHITYA
NRP. 2413 100 093

Supervisor
Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Bintang Adhitya

NRP : 2413100093

Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS

dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir saya berjudul OPTIMASI PROSES PRODUKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI JENIS *SINGLE-FLASH* DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM* adalah bebas dari plagiasi. Apabila pernyataan ini terbukti tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 20 Juli 2017

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Bintang Adhitya

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI PROSES PRODUKSI PADA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI
JENIS *SINGLE-FLASH* DENGAN METODE GENETIC
ALGORITHM

TUGAS AKHIR

Oleh:

MUHAMMAD BINTANG ADHITYA
NRP. 2413 100 093

Surabaya, Juni 2017
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I



Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.
NIP. 19571126198403 2 002

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI – ITS



Agus Muhammad Hattya, ST, MSi, Ph.D,
NIP. 19780902 200312 1 002

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI PROSES PRODUKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI JENIS *SINGLE-FLASH* DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM*




TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD BINTANG ADHITYA
NRP 2413 100 010

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  (Pembimbing I)
2. Ir. Ya'umar, MT.  (Penguji I)
3. Dr. Bambang L. Widjiantoro, S.T., M.T. (Penguji II) 

SURABAYA,

JUNI 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

OPTIMASI PROSES PRODUKSI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI JENIS *SINGLE-FLASH* DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM*

Nama : Muhammad Bintang Adhitya
NRP : 2413 100 093
Departemen : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

Abstrak

Pada pembangkit listrik tenaga panas bumi, untuk memperoleh produksi yang optimum maka diperlukan optimasi dalam proses produksinya. Optimasi proses dilakukan dengan mengubah variabel termodinamika yang terdapat pada proses produksi. Variabel optimasi yang digunakan adalah *wellhead pressure* dan *separator pressure*. Pemodelan plan dilakukan dengan menggunakan model termodinamika kesetimbangan eksergi. Pada hasil analisa eksergi plant didapat eksergi input dari sumur sebesar 558595 kW dengan nilai total *exergy loss* pada setiap komponen sebelum dioptimasi dengan *wellhead pressure* 12.1 bar dan *separator pressure* 10.9 bar didapat *exergy loss* sebesar 445360 kW sehingga didapat nilai efisiensi eksergi *overall* sebelum dioptimasi sebesar 23.95%. Setelah dilakukan optimasi didapat nilai optimum *wellhead pressure* sebesar 12.56 bar dan *separator pressure* sebesar 11.42 bar. Selanjutnya, dilakukan perhitungan efisiensi eksergi *overall* dengan menggunakan variabel optimum didapatkan penurunan total eksergi *loss* menjadi 443300 kW sehingga nilai efisiensi eksergi *overall* naik menjadi 24.3%

Kata Kunci: *Geothermal, Single-flash, Analisis Eksergi, Efisiensi Eksergi, Wellhead pressure, Separator pressure.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

OPTIMIZATION OF SINGLE-FLASH GEOTHERMAL POWER PLANT PRODUCTION PROCESS USING GENETIC ALGORITHM

Name : Muhammad Bintang Adhitya
NRP : 2413 100 093
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes

Abstract

In geothermal power plant, an optimization is needed in its process in order to achieve optimum production. An optimization is performed by changing the thermodynamic variables in the production process. Optimization variables that used are wellhead pressure and separator pressure. Modelling of the plant was based on thermodynamic model of exergy balance. Exergy analysis are performed using wellhead pressure of 12.1 bar and separator pressure of 10.9 bar. Exergy input of the production wells are found to be 558595 kW, the total exergy loss are found to be 445360 kW, and the overall exergy efficiency value are found to be 23.95%. After optimization is performed, the optimum wellhead pressure and separator pressure are found to be 12.52 and 11.56 bar. Subsequently, an exergy analysis are performed using optimum variables. The result was a decrease in the total exergy loss to a value of 443300 kW, so that the overall exergy efficiency are increased to 24.3%

Keyword: *Geothermal, Single-flash, Exergy Analysis, Exergy Efficiency, Wellhead pressure, Separator pressure.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya, hingga terselesaikannya tugas akhir beserta laporan tugas akhir ini.

Penulis telah banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak dalam penyelesaian Tugas Akhir dan laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua (Bapak Medi Hartoyo dan Ibu Leti Yulisdamela). Terima kasih atas segala cinta, kasih sayang, doa, perhatian, serta dukungan moral dan materiil yang telah diberikan.
2. Anggita Larashati yang telah menemani dan memberikan dukungan moral dan semangat serta bimbingan selama masa perkuliahan.
3. Bapak Agus Muhamad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Fisika yang telah memberikan bimbingan selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
4. Ibu Ir. Ronny Dwi Noriyati, M. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan petunjuk, ilmu, serta bimbingan yang sangat bermanfaat.
5. Bapak Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST. MT selaku dosen wali yang telah membimbing penulis selama perkuliahan.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuannya.

Penulis sadar bahwa penulisan laporan tugas akhir ini tidak sempurna, namun semoga laporan ini dapat memberikan kontribusi dan dapat bermanfaat sebagai referensi pengerjaan laporan tugas akhir bagi mahasiswa yang lain.

Surabaya, 1 Juni 2017

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Lingkup Kerja	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi	5
2.2 Proses Konversi dalam Termodinamika.....	6
2.3 Energi dan Eksergi	9
2.4 Optimasi dengan Metode <i>Genetic Algorithm</i>	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Penentuan Parameter Input Sistem dari Data	
3.3 Pemodelan <i>Exergy Rate</i> Pada Setiap Proses	16
3.3 Analisa Eksergi	17
3.4 Penentuan Fungsi Objektif	18
3.5 Optimasi Efisiensi Eksergi dengan Metode <i>Genetic Algorithm</i>	18
3.6 Analisa Efisiensi Eksergi <i>Overall</i> Sesudah dan Sebelum Optimasi	19
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisa Nilai Eksergi Plant	21
4.2 Optimisasi Proses Produksi dengan Metode <i>Genetic Algorithm</i>	26

4.3 Perhitungan Ulang Efisiensi Eksergi <i>Overall</i>	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	31
5.2 Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Simplified single-flash power plant schematic.....	5
Gambar 2.2 Diagram T-S pada pembangkit jenis single-flash	6
Gambar 2.3 Diagram Blok Optimasi Menggunakan Genetic Algorithm	12
Gambar 2.4 Mekanisme Crossover	13
Gambar 2.5 Mekanisme Mutasi	14
Gambar 3.1 Flowchart Tugas Akhir	15
Gambar 3.2 Model representatif dari sistem PLTP jenis single- flash Wayang Windu.	16
Gambar 4.1 Grassmann diagram exergy flow pada PLTP Wayang Windu Unit 2	25
Gambar 4.2 Nilai fungsi objektif pada saat 20 kali iterasi	27
Gambar 4.3 Nilai fungsi objektif pada saat 50 kali iterasi	27
Gambar 4.4 Nilai fungsi objektif pada saat 100 kali iterasi ..	28
Gambar 4.5 Nilai fungsi objektif pada saat 500 kali iterasi	28

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data pada setiap state	19
Tabel 4.2 Hasil perhitungan exergy rate pada setiap state....	20
Tabel 4.3 Nilai dari exergy loss dari setiap komponen	23
Tabel 4.4 Data hasil optimisasi	29

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara berkembang yang ekonominya sedang tumbuh, Indonesia memiliki tingkat kebutuhan akan pemakaian energi yang terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan industri dan bertambahnya jumlah penduduk. Dengan tingginya tingkat kebutuhan energi nasional tersebut, Indonesia sangat bergantung pada sumber energi fosil, yang mengakibatkan biaya penyediaan energi yang mahal serta dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, Indonesia perlu mengembangkan sumber energi lain, yaitu energi baru dan terbarukan yang mempunyai potensi sangat besar.

Salah satu sumber energi baru dan terbarukan yang sedang dikembangkan di Indonesia adalah energi panas bumi. Panas bumi (geothermal) di Indonesia merupakan salah satu sumber daya energi yang memiliki cadangan dengan jumlah sangat besar (bahkan terbesar di dunia yaitu 75 GWh), namun sampai saat ini di tengah krisis energi yang melanda berbagai tempat di Indonesia, termasuk ancaman kekurangan pasokan energi untuk Jawa— pemanfaatan panas bumi di Tanah Air masih sangat kecil, sebesar 1,042 GW atau hanya 3,8% DIREKTORAT ENERGI, TELEKOMUNIKASI & INFORMATIKA BAPPENAS, 2008). Setelah dilakukan beberapa survei terkait potensi panas bumi di Indonesia, terdapat 265 area prospek panas bumi. Sebagai sumber energi, panas bumi memiliki berbagai sifat unggul yaitu potensi cadangannya yang besar, produksi emisi yang sangat kecil, dan energinya dihasilkan terus menerus oleh alam di banyak di daerah di Indonesia. Sistem panas bumi di Indonesia umumnya sistem hidrothermal yang mempunyai temperatur tinggi ($>225^{\circ}\text{C}$), hanya beberapa diantaranya yang mempunyai temperatur sedang ($125\text{--}225^{\circ}\text{C}$),

sehingga sangat potensial apabila diusahakan untuk pembangkit listrik (Bambang Setiawan, 2009).

Pada pembangkit listrik tenaga panas bumi, untuk memperoleh produksi listrik yang optimum maka diperlukan teknik optimasi dalam proses produksinya. Optimasi proses dipengaruhi oleh variabel termodinamika yang terdapat pada proses produksi seperti temperature dan tekanan (DiPippo, 2006)

Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai optimasi produksi daya listrik dari pembangkit tenaga panas bumi (Pambudi, 2013), penelitian ini dilakukan di PLTP Dieng, Jawa Tengah. Optimasi pada penelitian ini dilakukan untuk sumur produksi dengan menerapkan variable optimum untuk menghasilkan daya listrik optimum.

Selain itu, terdapat penelitian mengenai analisis eksergi dan optimasi exergoeconomic pada PLTP jenis single-flash (Masdi, 2014). Pada penelitian ini dilakukan lima jenis analisis yaitu analisis eksergii pada kondisi operasional, optimasi efisiensi eksergi, optimasi ekonomi, optimasi exergoeconomic dengan tekanan wellhead sebagai variable, dan optimasi steam ejector dengan aliran motive steam sebagai variable.

Salah satu PLTP terbesar di Indonesia adalah PLTP area Wayang Windu (Star Energy Geothermal Ltd.) yang terletak sejauh 40 KM di sebelah selatan Bandung, Jawa Barat. Wayang Windu Geothermal dikelola di bawah Joint Operation Contract dengan Pertamina untuk mengembangkan sumber daya panas bumi di wilayah kontrak 12.960 hektar.

Karena permintaan akan energi di wilayah Jawa Barat dari tahun ke tahun terus bertambah dan kualitas produksi steam yang terus menurun, maka optimasi produksi daya listrik perlu dilakukan agar dapat PLTP beroperasi secara efisien sehingga perusahaan tidak mengalami kerugian. Tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini adalah memberikan rekomendasu tentang kondisi operasi yang optimum di Star Energy Geothermal (Wayang Windu) Ltd

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan di atas, berikut adalah rumusan masalah yang dijadikan acuan dalam pembuatan tugas akhir ini :

1. Bagaimana memodelkan sistem PLTP jenis *single-flash* ditinjau dari sistem termodinamikanya?
2. Bagaimana menentukan parameter optimum pada proses produksi daya listrik dari sistem geothermal ditinjau dari segi efisiensi eksnerginya?

1.3 Tujuan

Berdasarkan perumusan masalah yang disebutkan sebelumnya, tujuan yang akan dicapai melalui tugas akhir ini adalah:

1. Memodelkan sistem PLTP jenis *single-flash* ditinjau dari sistem termodinamikanya
2. Menentukan parameter optimum pada proses produksi daya listrik dari sistem geothermal ditinjau dari segi efisiensi eksnerginya

1.4 Lingkup Kerja

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, ada beberapa batasan masalah yang harus diperhatikan, yaitu sebagai berikut:

1. Memodelkan *exergy rate* pada setiap proses di PLTP jenis *single-flash* yang digunakan sebagai model sistem.
2. Merancang fungsi objektif untuk mencari nilai efisiensi eksergi *overall* dari model sistem.
3. Merancang *genetic algorithm* sebagai optimasi dari model sistem.
4. Optimasi dengan metode *genetic algorithm* menggunakan software Matlab untuk menentukan tekanan *wellhead valve* dan tekanan *separator* yang optimum sehingga didapatkan nilai efisiensi eksergi *overall* yang paling optimal.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab, yakni:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi pendahuluan yang menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, lingkup kerja, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Definisi dan penjelasan pustaka yang dijadikan referensi beserta penelitian sebelumnya yang terkait dalam pembuatan tugas akhir ini akan dijelaskan pada bab dua. Teori yang dipaparkan di antaranya mengenai PLTP, Proses Konversi dalam Termodinamika, *Energi Eksergi*, Optimasi dengan metode *Genetic Algorithm*, serta konsep-konsep lain yang berkaitan dengan pembuatan tugas akhir.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menggambarkan uraian dan urutan pekerjaan yang akan dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang bagaimana kesenjangan yang terjadi antara kondisi plant dan kondisi optimal, kemudian menjelaskan *exergy flow* dan eksergi yang hilang di setiap proses.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

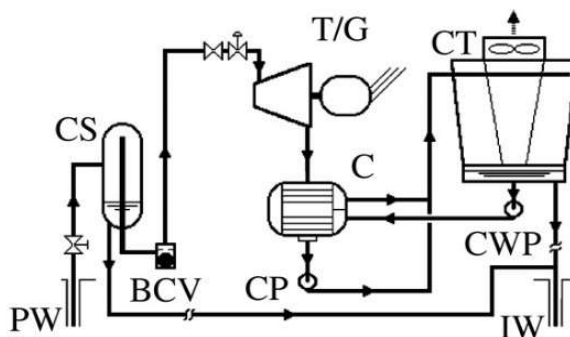
Bab ini berisi tentang simpulan dari keseluruhan tugas akhir dan saran maupun rekomendasi terhadap penelitian tugas akhir ini untuk perbaikan ataupun penelitian lanjutan yang memiliki kesamaan dengan topik yang diangkat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan boiler, sedangkan pada PLTP uap berasal dari *reservoir* panas bumi. Apabila fluida di kepala sumur berupa fasa uap, maka uap tersebut dapat dialirkan langsung ke turbin, dan kemudian turbin akan mengubah energi panas bumi menjadi energi gerak yang akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik (Saptadji. 2011)

Berikut merupakan beberapa sistem pembangkitan listrik dari fluida panas bumi yang telah diterapkan di lapangan, diantaranya: single-flash, double-flash system, dry-steam dan binary cycle power plant (DiPippo). PLTP jenis single-flash merupakan sistem yang paling banyak digunakan di industry geothermal, karena mayoritas sumber panas bumi di dunia merupakan jenis dua fasa yaitu fasa cair dan uap. Jenis single-flash merupakan cara paling sederhana untuk mengkonversi energi panas bumi menjadi energi listrik.



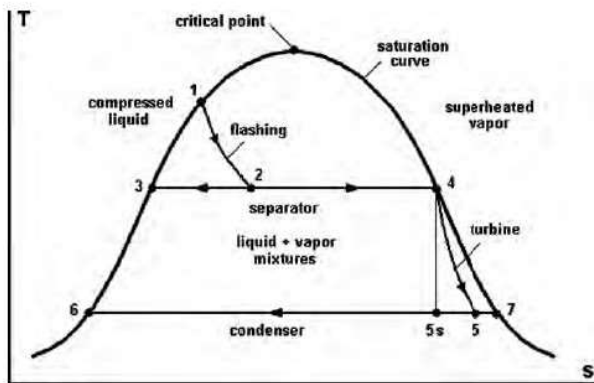
Gambar 2.1 Simplified single-flash power plant schematic
(DiPippo)

Pada PLTP jenis single-flash, ketika sumber panas bumi yaitu *production wells* menghasilkan campuran air dan uap, campuran tersebut akan dipisahkan oleh separator sehingga uap yang diteruskan ke turbin merupakan uap kering yang memiliki nilai kualitas hampir mendekati 1. Setelah itu uap keluaran dari turbin diteruskan ke kondensor dan didinginkan pada *cooling tower*.

2.2 Proses Konversi dalam Termodinamika

Dalam melakukan Analisa konversi energi pada PLTP dapat didasarkan dengan hukum termodinamika. Setiap jenis PLTP memiliki proses yang berbeda ditinjau dari hukum termodinamikanya (DiPippo)

Pada PLTP jenis single-flash, geofluida mengalami beberapa proses yang dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram T-S pada pembangkit jenis single-flash (DiPippo)

2.2.1 Sumur Produksi

Pada sumur produksi, perubahan pada tekanan kepala sumur akan mempengaruhi laju massa uap yang diproduksi. Hubungan antara tekanan kepala sumur dengan laju massa uap dapat diketahui dengan rumus:

$$\dot{m} = \dot{m}_{max} \sqrt{1 - \left(\frac{P}{P_{ci}}\right)^2} \quad (2.1)$$

Dimana:

\dot{m}	= Laju massa uap (kg/s)
\dot{m}_{max}	= laju massa uap maksimal (kg/s)
P	= Tekanan sumur (bar)
P_{ci}	= Tekanan saat sumur tertutup (bar)

Pada sumur produksi terdapat proses *flashing*. Proses ini digambarkan saat kondisi 1 dan 2 pada diagram T-S dimana pada proses ini geofluida mengalami penurunan tekanan dan suhu secara drastis yang diakibatkan oleh *valve* terbuka.

2.2.2 Separator

Pada separator terjadi proses separasi untuk memisahkan kondensat dari uap agar uap menjadi kering. Proses separasi ini terjadi secara isobaric atau tekanan konstan.

2.2.3 Scrubber

Scrubber merupakan alat untuk menghilangkan kondensat dari uap dan untuk memastikan bahwa uap benar-benar kering.

2.2.4 Turbin uap dan generator

Untuk turbin dalam keadaan steady, *inlet* dari fluida yang bekerja dan tekanan *exhaust* telah ditentukan. Oleh karena itu, untuk proses ideal dari turbin adiabatik adalah proses isentropik antara inlet dan tekanan *exhaust*. Daya turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$W_{turb \text{ aktual}} = \dot{m}_{total} \cdot (h_{4a} - h_5) \quad (2.2)$$

$$W_{turb\ ideal} = \dot{m}_{total} \cdot \eta_{turbin} (h_{4a} - h_{5s}) \quad (2.3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \dot{w}_{turb} &= \text{daya turbin (kW)} \\ \dot{m}_{total} &= \text{laju massa aliran masuk turbin (kJ/kg)} \\ h_{4a} &= \text{enthalpi pada masukan turbin (kJ/kg)} \\ h_5 &= \text{enthalpi pada keluaran turbin kondisi aktual (kJ/kg)} \\ h_{5s} &= \text{enthalpi pada keluaran turbin kondisi ideal (kJ/kg)} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk efisiensi turbin (η) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\eta_{turbin} = \frac{\text{Actual turbin work}}{\text{Isentropic turbin work}} = \frac{W_{turb\ aktual}}{W_{turb\ ideal}} \quad (2.4)$$

Untuk menghitung nilai daya yang dihasilkan turbin generator dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$W_{gen} = \dot{w}_{turb} \cdot \eta_{gen} \quad (2.5)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} W_{gen} &= \text{daya listrik yang dihasilkan generator (kW)} \\ \dot{w}_{turb} &= \text{daya turbin (kW)} \\ \eta_{gen} &= \text{efisiensi generator} \end{aligned}$$

2.3 Energi dan Eksergi

Energi didefinisikan sebagai gerakan atau kemampuan untuk menyebabkan gerakan dan selalu dikonversikan di suatu proses (sesuai dengan hukum termodinamika). Sedangkan Eksergi yaitu adalah potesial kerja maksimum yang dapat diperoleh oleh sebuah sistem, dalam kata lain Eksergi digunakan untuk mendeskripsikan ketersediaan energi.

Kesetimbangan eksergi merupakan sebuah tool untuk mengidentifikasi tipe, lokasi dan besar dari kerugian termal dengan menggunakan kesetimbangan konservasi massa dan energi sesuai dengan hukum termodinamika dua. Sesuai dengan hukum termodinamika II yaitu konversi energi dapat terjadi apabila total entropi bertambah (Kwambai, 2005).

Definisi eksergi belum lengkap tanpa ditentukan lingkungan referensi dan menunjukkan bagaimana nilai numerik eksergi diperoleh. Lingkungan referensi pada eksergi mencakup bagian sekeliling dari sistem. Namun, interaksi antar sistem dan sekeliling tersebut tidak berpengaruh pada lingkungannya.

Selain itu, keadaan mati (*dead state*) melengkapi pengertian eksergi, yaitu keadaan dimana suatu sistem mencapai kesetimbangan pada lingkungan sehingga nilai ekserginya adalah nol. Pada keadaan mati ini, masih terdapat nilai energi, hal ini diakibatkan tidak ada kemungkinan terjadinya perubahan spontan di dalam sistem atau dalam lingkungan, juga tidak timbul interaksi di antaranya (Moran & Saphiro, 2006). Laju energi dan eksergi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\dot{E}_n = \dot{m} \cdot (h - h_0) \quad (2.6)$$

$$\dot{E}_x = \dot{m} \cdot (h - h_0 - T_0(s - s_0)) \quad (2.7)$$

Dimana:

\dot{E}_n	= energi rate (kW)
\dot{E}_x	= eksergi rate (kW)
\dot{m}_{total}	= laju massa aliran (kg/s)
h	= enthalpi (kJ/kg)
h_0	= enthalpi lingkungan (kJ/kg)
T_0	= temperature lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
s	= entropi (kJ/kg.K)
s_0	= entropi lingkungan (kJ/kg.K)

Analisa energi erat kaitannya dengan hukum termodinamika pertama. Hukum termodinamika pertama biasanya disebut dengan hukum kekelan energi yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan tetapi dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk lain. Dalam sistem tertutup energi dapat dipindahkan dalam bentuk kerja (work) dan dalam bentuk kalor (heat transfer) (Moran & Shapiro, 2006).

Kelebihan analisa eksergi dibanding dengan analisa energi, yaitu lebih akurat dalam membuat desain sistem termal yang optimal, lebih teliti dalam menentukan besar energi yang hilang dalam proses maupun yang dilepas ke udara sehingga dengan menggunakan neraca eksergi nantinya bias diketahui lokasi dan besar energi terbuang, selain itu eksergi dapat menentukan kualitas energi (Kwambai, 2005).

Pengukuran performansi dengan eksergi dari sebuah sistem dapat dilakukan dengan menghitung efisiensi eksergi dari sistem tersebut. Efisiensi eksergi dapat didefinisikan dengan perbandingan rasio dari eksergi output dengan eksergi yang dibutuhkan pada input. Persamaannya yaitu:

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{E}_{x \text{ desired}}}{\dot{E}_{x \text{ in}}} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Dimana:

\dot{E}_x = eksergi rate (kW)

Dalam perhitungan pada perembangkit listrik tenaga panas bumi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$W_{nett} = \dot{E}_x \text{ in} - \Sigma \dot{E}_x \text{ out} \quad (2.9)$$

$$\eta_{overall} = \frac{W_{nett}}{\dot{E}_x \text{ in}} \cdot 100\% \quad (2.10)$$

Dimana:

W_{nett} = net power output (kW)

\dot{E}_x = eksergi rate input pada sumur (kW)

$\dot{E}_x \text{ out}$ = eksergi loss pada komponen power plant (kW)

2.4 Optimasi dengan Metode *Genetic Algorithm*

Secara umum *Genetic Algorithm* (GA) merupakan teknik pencarian yang digunakan dalam komputasi untuk mencari solusi yang tepat atau perkiraan solusi untuk optimisasi dan masalah pencarian.

Suatu *genetic algorithm* standar membutuhkan dua hal untuk didefinisikan, yaitu :

1. Sebuah *genetic representation* dari sebuah *solution domain* (domain solusi),
2. Sebuah *fitness function* untuk mengevaluasi sebuah domain solusi.

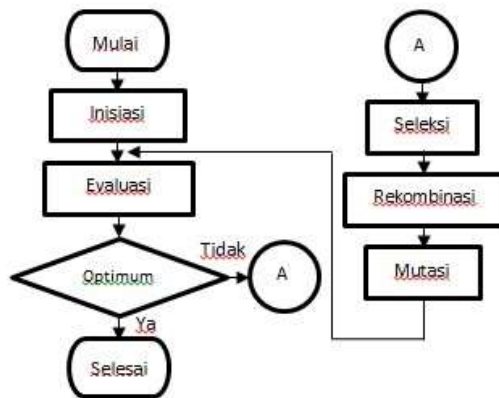
Representasi standar dari solusinya adalah sebuah *array of bits* (larik bit). Properti utama yang membuat representasi genetik ini baik adalah bagian-bagiannya yang bisa diakses dengan mudah karena ukuran yang pasti (*fixed*), yang memudahkan suatu operasi persilangan yang sederhana. Representasi panjang variabel juga digunakan disini, tetapi implementasi persilangan jauh lebih sulit pada kasus ini.

Fungsi penghitung nilai kecocokan (*fitness*) didefinisikan pada representasi *genetic* dan digunakan untuk mengukur

kualitas (*quality*) pada solusi yang direpresentasikan. Fungsi penghitung ini selalu tergantung pada masalah yang ada (*problem dependent*).

Setelah memiliki representasi genetik dan sebuah fungsi untuk mencari nilai kecocokan (*fitness*) terdefinisi, maka *genetic algorithm* akan melanjutkan untuk membentuk suatu populasi acak, kemudian meningkatkannya melalui aplikasi yang berulang-ulang dari mutasi, persilangan, dan operator seleksi.

Genetic algorithm dapat dituliskan dalam berbagai bahasa pemrograman. Namun tahapan logika yang digunakan dalam GA adalah sama. Diagram alir optimasi menggunakan GA dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Diagram Blok Optimasi Menggunakan Genetic Algorithm (Ce'sar, E.A. 2013)

Tahapan-tahapan *genetic algorithm* diantaranya yaitu:

1. Inisiasi
Populasi awal dari kandidat solusi biasanya dicari secara acak dalam seluruh ruang pencarian.
2. Pengkodean kromosom

Kromosom pada GA merupakan solusi dari satu variabel. Jenis kode yang digunakan adalah biner, yaitu 0 atau 1. Kromosom diwakili oleh beberapa gen. Kromosom dalam bentuk biner merupakan kromosom genotip dan yang berupa solusi adalah kromosom fenotip.

3. Evaluasi

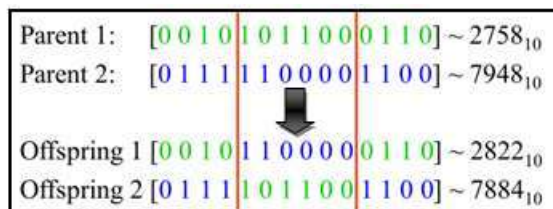
Ketika populasi yang telah diinisiasi atau populasi keturunan terbentuk, nilai *fitness* dari tiap individu dievaluasi. Nilai *fitness* merupakan nilai dari kemampuan solusi untuk bertahan.

4. Seleksi

Seleksi mengalokasikan lebih banyak salinan dari solusi dengan *fitness* yang lebih tinggi dan memberlakukan mekanisme survival dari tiap *fitness* pada tiap kandidat solusi. Gagasan utama dari tahapan seleksi adalah untuk mendapatkan solusi terbaik dari generasi terburuk, dan banyak prosedur seleksi telah ditemukan, seperti *roulette-wheel*, *selection stochastic universal*, seleksi *ranking*, seleksi turnamen, dan lain sebagainya.

5. Rekombinasi

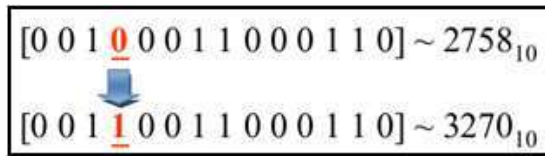
Tahap rekombinasi mengkombinasi bagian dari dua atau lebih solusi induk untuk membentuk individu baru dengan kemungkinan menjadi solusi yang lebih baik. Biasanya rekombinasi menggunakan mekanisme *crossover*. Pada gambar merupakan mekanisme *crossover* dimana pada kromosom induk dipotong oleh *crossover point* sehingga gen-gen pada tiap kromosom bertukar silang dan menghasilkan anak.



Gambar 2.4 Mekanisme Crossover (Ce'sar, E.A. 2013)

6. Mutasi

Ketika rekombinasi beroperasi terhadap dua atau lebih kromosom, mutasi lokal tetapi acak memodifikasi sebuah solusi. Dan juga akan terjadi bermacam-macam mutasi, tapi biasanya melibatkan satu atau lebih perubahan sifat individu. Mekanisme mutasi dapat dilihat pada Gambar 5, salah satu gen pada kromosom awal dimutasi sehingga menghasilkan kromosom baru.



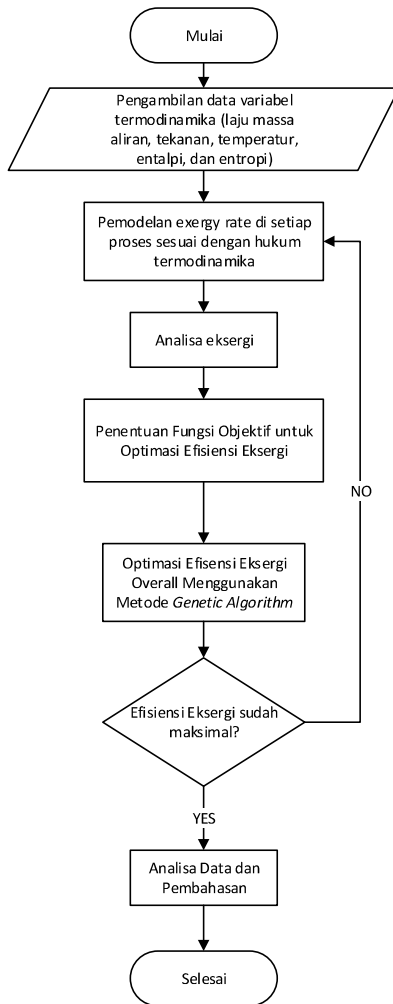
Gambar 2.5 Mekanisme Mutasi (Ce'sar, E.A. 2013)

7. Penggantian

Keturunan hasil dari seleksi, rekombinasi, dan mutasi akan menggantikan populasi induk. Banyak metode penggantian seperti penggantian *elitist*, penggantian *generation-wise*, dan penggantian *steady-state*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Flowchart Tugas Akhir

Laju eksergi dapat dimodelkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\dot{E}_x = \dot{m} \cdot (h - h_0 - T_0(s - s_0))^{[2]} \quad (3.1)$$

Dimana:

- \dot{E}_x = eksergi rate (kW)
- \dot{m}_{total} = laju massa aliran (kg/s)
- h = enthalpi state (kJ/kg)
- h_0 = enthalpi lingkungan (kJ/kg)
- T_0 = temperature lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
- s = entropi state (kJ/kg.K)
- s_0 = entropi lingkungan (kJ/kg.K)

3.3 Analisa Eksergi

Setelah didapatkan data, maka akan dilakukan analisa dari *exergy rate* dan *exergy loss*. *Exergy rate* pada setiap *state* didapatkan dengan menggunakan persamaan (3.1) sedangkan *exergy loss* pada masing-masing proses didapatkan dari persamaan berikut.

$$\dot{E}_{x_{\text{loss wellhead valve}}} = E_{x_{\text{well}}} - E_{x_1} \quad (3.2)$$

$$\dot{E}_{x_{\text{loss separator}}} = E_{x_1} - E_{x_2} \quad (3.3)$$

$$\dot{E}_{x_{\text{loss scrubber}}} = E_{x_2} - E_{x_3} \quad (3.4)$$

$$\dot{E}_{x_{\text{loss turbin}}} = E_{x_4} - E_{x_5} - W_{\text{gross turbin}} \quad (3.5)$$

$$\dot{E}_{x_{\text{loss condenser}}} = E_{x_5} - (E_{x_{6a}} + E_{x_{6b}}) + E_{x_8} + E_{x_7} \quad (3.6)$$

$$\dot{E}_{x_{\text{loss cooling tower}}} = E_{x_{6a}} - E_{x_7} + E_{x_{\text{air A}}} - E_{x_{\text{air B}}} \quad (3.7)$$

$$\dot{E}_{x_{\text{loss GRS}}} = E_{x_{6b}} + E_{x_{4a}} - E_{x_9} - E_{x_8} \quad (3.8)$$

3.4 Penentuan Fungsi Objektif

Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan, selanjutnya fungsi objektif dilakukan. Persamaan (3.9) merupakan persamaan untuk menentukan nilai efisiensi eksergi overall sehingga dari persamaan tersebut dapat ditentukan persentase efisiensi eksergi yang dapat dijadikan sebagai fungsi objektif.^[2]

$$W_{nett} = \dot{E}_x \text{ in} - \Sigma \dot{E}_x \text{ out} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} \Sigma \dot{E}_x \text{ out} = & (\dot{E}_{x\text{loss wellhead valve}} + \dot{E}_{x\text{loss separator}} + \dot{E}_{x\text{loss scrubber}} \\ & + \dot{E}_{x\text{loss turbin}} + \dot{E}_{x\text{loss condenser}} + \dot{E}_{x\text{loss cooling tower}} \\ & + \dot{E}_{x\text{loss GRS}}) \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\eta_{overall} = \frac{W_{nett}}{\dot{E}_x \text{ in}} \cdot 100\% \quad (3.11)$$

Dimana:

W_{nett} = net power output (kW)

$\dot{E}_x \text{ in}$ = eksergi rate input pada sumur (kW)

$\dot{E}_x \text{ out}$ = eksergi loss pada komponen *power plant* (kW)

3.5 Optimasi Efisiensi Eksergi dengan Metode *Genetic Algorithm*

Untuk menentukan besarnya nilai efisiensi eksergi yang optimal, digunakan optimasi dengan metode *genetic algorithm* dengan *software* Matlab. Variabel yang dioptimasi adalah tekanan pada *wellhead valve* dan separator. *Constraint* masing-masing variabel akan ditentukan berdasarkan kondisi operasi di *plant*.

Pada optimasi efisiensi eksergi dengan metode *Genetic Algorithm*, terdapat beberapa tahapan algoritma pencarian. Pertama dibangun populasi awal sebanyak 20 individu

yang setiap individu terdiri dari 10 kromosom. Setelah itu dilakukan *crossover* pada setiap individu untuk menghasilkan generasi baru, *crossover* dilakukan dengan mengambil sebagian dari masing-masing kromosom induk untuk membentuk generasi baru. Setelah *crossover* dilakukan proses mutasi, proses mutasi dilakukan dengan mengubah sebagian kromosom pada generasi hasil *crossover*. Selanjutnya dilakukan seleksi terhadap generasi baru tersebut dengan menggunakan elitisme, sehingga sebagian generasi terbaik pada setiap iterasi akan disimpan untuk iterasi selanjutnya. Setelah dilakukan iterasi maka didapat nilai fungsi objektif terbaik.

3.6 Analisa Efisiensi Eksergi *Overall* Sesudah dan Sebelum Optimasi

Selanjutnya dilakukan analisa efisiensi eksergi sesudah dan sebelum optimasi untuk mengetahui *wellhead pressure* dan *separator pressure* yang optimal. Analisa dilakukan dengan membandingkan nilai η_{ex} sesudah optimasi dengan nilai η_{ex} sebelum optimasi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Nilai Eksergi Plant

Perhitungan nilai eksergi pada *plant* dilakukan pada setiap keadaan yang didefinisikan seperti pada gambar 3.1. Data pengukuran yang diperoleh yaitu adalah data tekanan dan temperature pada setiap *state* tersebut. Dengan data tersebut perhitungan nilai eksergi dapat dilakukan seperti yang dijelaskan pada bab 3. Data hasil pengukuran yang diperoleh terdapat pada tabel 4.1 dengan hasil perhitungan *exergy rate* yang ditampilkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data pada setiap state

<i>State</i>	<i>Temperature</i>	<i>Pressure</i>	<i>Mass flow</i>	<i>Specific enthalpy</i>	<i>Specific entropy</i>
	°C	Bar	kg/s	kJ/kg	kJ/kg.K
<i>Well</i>	196.60	12.10	221.98	2806.54	6.57
1	189.00	12.10	221.32	2788.60	6.57
2	186.70	10.90	219.85	2788.60	6.57
3	183.80	10.10	218.43	2786.82	6.60
4	182.80	9.80	210.10	2786.43	6.61
4a	182.60	9.60	6.70	2787.39	6.63
5	49.50	0.10	210.10	2158.16	6.81
6a	44.00	1.80	5000.00	184.41	0.63
6b	26.50	0.20	3.90	111.13	0.39
7	28.00	0.30	4971.00	117.41	0.41
8	39.80	0.10	140.00	166.71	0.57
9	42.00	0.70	4.00	334.97	1.08
Air CT in	16.00	0.70	179.00	67.24	0.24
Air CT ou	31.00	0.70	179.00	129.99	0.45
Lingkungan	16.00	0.70	-	67.24	0.24

Dengan hasil perhitungan nilai *exergy rate* maka dapat ditentukan nilai *exergy loss/exergy destruction* pada setiap komponen. Hasil yang diperoleh ditampilkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan *exergy rate* pada setiap state

State	<i>Exergy rate</i>
	kW
Well	585595.80
1	579467.53
2	576403.59
3	571879.46
4	549453.39
4a	25736.58
5	416882.73
6a	466147.76
6b	166.00
7	235864.45
8	13184.89
9	1017.39
Air CT in	0.09
Air CT out	10625.94

Perhitungan nilai *exergy loss* pada setiap komponen didapat dari selisih nilai *exergy rate* pada output dengan nilai *exergy rate pada input*. Berikut perhitungan nilai *exergy loss* pada setiap komponen *power plant*.

$$\begin{aligned}
 \dot{E}x_{\text{loss wellhead valve}} &= Ex_{\text{well}} - Ex_1 \\
 &= 585595.80 - 579467.53 = 6128.27 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \dot{E}x_{\text{loss separator}} &= Ex_1 - Ex_2 \\
 &= 579467.53 - 576403.59 = 3063.94 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\dot{E}x_{\text{loss scrubber}} &= Ex_2 - Ex_3 \\
&= 576403.59 - 571879.46 = 4524.13 \text{ kW} \\
\\
\dot{E}x_{\text{loss turbin}} &= Ex_4 - Ex_5 - W_{\text{gross turbin}} \\
&= 549453.39 - 416882.73 - 131898.85 \\
&= 671.81 \text{ kW} \\
\\
\dot{E}x_{\text{loss condensor}} &= Ex_5 - (Ex_{6a} + Ex_{6b}) + Ex_8 + Ex_7 \\
&= 416882.73 - (466147.76 + 166) + 13184.89 \\
&\quad + 235864.45 \\
&= 199618.30 \text{ kW} \\
\\
\dot{E}x_{\text{loss cooling tower}} &= Ex_{6a} - Ex_7 + Ex_{\text{air in}} - Ex_{\text{air out}} \\
&= 466147.76 - 235864.45 + 0.09 - 10625.94 \\
&= 219657.46 \text{ kW} \\
\\
\dot{E}x_{\text{loss GRS}} &= Ex_{6b} + Ex_{4a} - Ex_9 - Ex_8 \\
&= 166 + 25736.58 - 1017.39 - 13184.89 \\
&= 11700.31 \text{ kW}
\end{aligned}$$

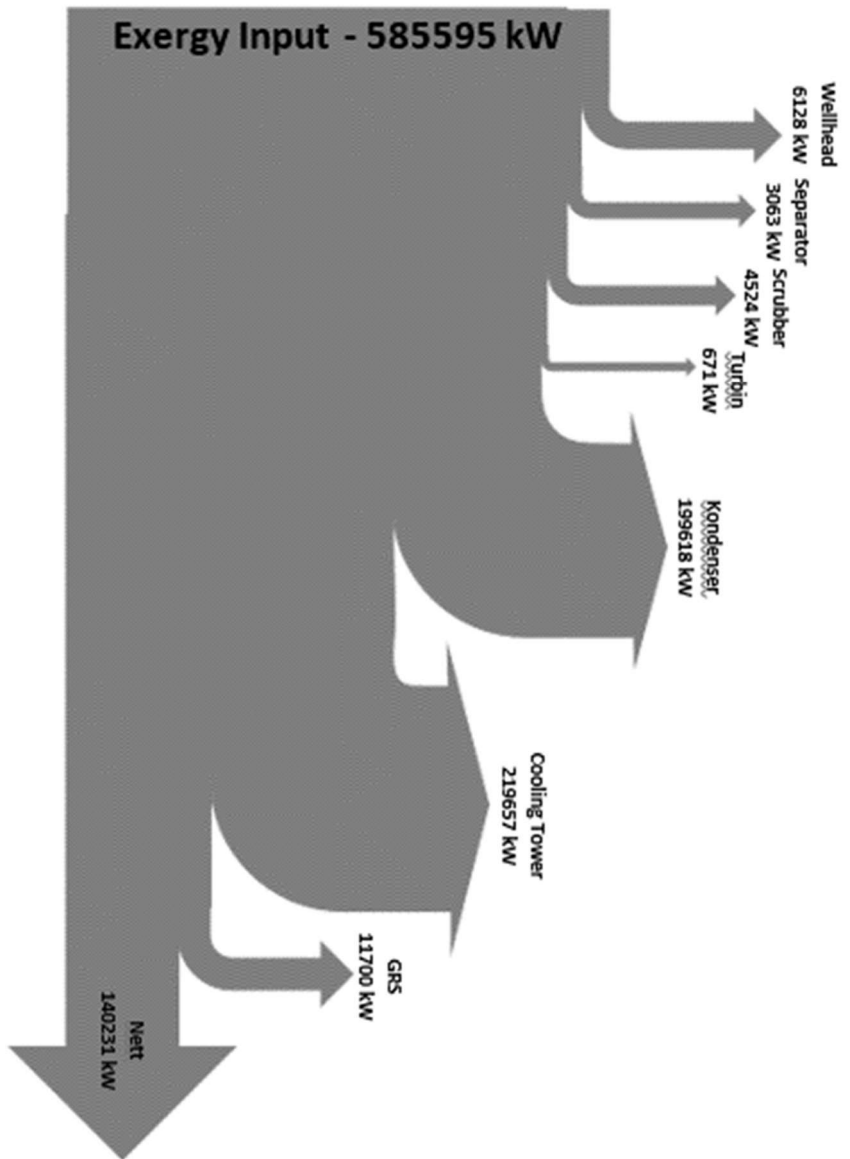
Tabel 4.3 Nilai dari *exergy loss* dari setiap komponen

Komponen	<i>Exergy loss</i>
	kW
Wellhead Valve	6128.27
Separator	3063.94
Scrubber	4524.13
Turbin	671.81
Kondenser	199618.30
Cooling Tower	219657.46
Gas Removal System	11700.31

Pada tabel 4.3 dapat dilihat nilai *exergy loss* pada *wellhead valve* sangat kecil yaitu sebesar 6128.27 kW. *Exergy loss* yang terjadi pada separator dan scrubber juga cukup kecil

yaitu 3063.94 kW dan 4524.13 kW. Nilai *exergy loss* pada turbin cukup rendah yaitu sebesar 671.81 kW dengan efisiensi eksergi turbin sebesar 99.78%. Nilai efisiensi eksergi turbin yang tinggi ini diakibatkan proses ekspansi pada turbin mendekati isentropik.

Grassmann diagram yang menunjukkan *exergy flow* pada *plant* dapat dilihat pada gambar 4.1. Untuk nilai *exergy loss* yang tertinggi terdapat di kondenser, *cooling tower*, dan *Gas Removal System*. *Exergy loss* pada kondenser yaitu sebesar 199618.30 kW. *Exergy loss* pada *cooling tower* yaitu sebesar 219657.46 kW dan *exergy loss* pada *gas removal system* yaitu sebesar 11700.31 kW. Nilai *exergy loss* yang rendah ini disebabkan oleh keadaan pipa dan pompa yang terdapat penyumbatan.



Gambar 4.1 Grassmann diagram *exergy flow* pada PLTP Wayang Windu Unit 2

Kemudian dapat dihitung nilai efisiensi eksergi *overall* (persamaan 2.13) dari PLTP Single-Flash area Wayang Windu sebagai berikut:

$$W_{nett} = 5.8559 * 10^5 - 4.4536 * 10^5$$

$$\eta_{overall} = \frac{1.4023 * 10^5}{5.8559 * 10^5} \cdot 100\%$$

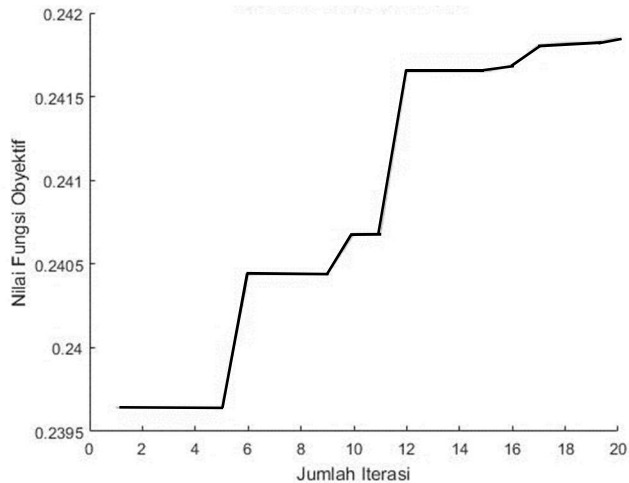
$$\eta_{overall} = 23.95 \%$$

4.2 Optimisasi Proses Produksi dengan Metode *Genetic Algorithm*

Optimisasi dilakukan dengan *software* MATLAB R2016a. Fungsi objektif dari optimisasi ini adalah menaikkan nilai efisiensi eksergi *overall* agar kinerja *plant* lebih optimal dengan mengubah besarnya variabel yang dioptimisasi. Variabel yang dioptimisasi adalah tekanan pada *wellhead valve* dan tekanan pada separator. *Constraint* didapatkan dari manual desain *plant* ini. *Constrain* yang digunakan pada optimisasi ini adalah 12-14 bar pada *wellhead valve* dikarenakan spesifikasi *rupture disc* pada *pipeline* dan 8.5-12 bar pada separator berdasarkan data desain. . Optimisasi dilakukan dengan menggunakan populasi 20, kromosom 10, probabilitas *crossover* 80%, dan probabilitas mutasi 1%.

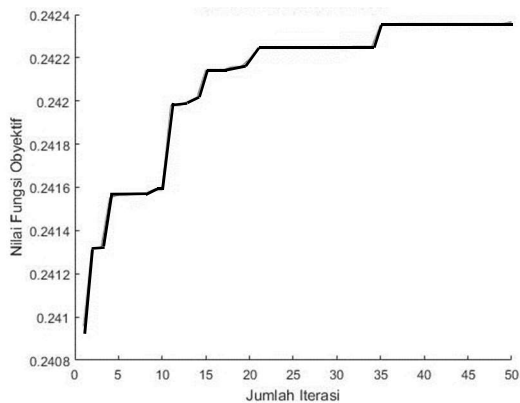
Untuk menentukan banyaknya iterasi yang dilakukan untuk optimisasi, dicoba berbagai jumlah iterasi. Hasil iterasi dapat dilihat pada gambar berikut :

Sumbu *x* pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5 adalah besarnya iterasi, sedangkan sumbu *y*-nya adalah *fitness* atau efisiensi eksergi *overall*.



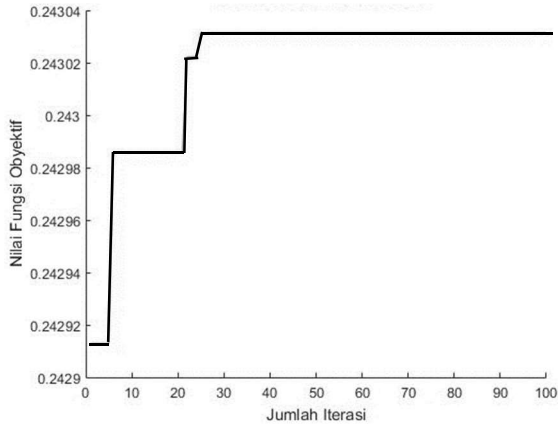
Gambar 4.2 Nilai fungsi objektif pada saat 20 kali iterasi

Gambar 4.2 adalah pada saat menggunakan 20 iterasi, dapat dilihat grafik masih menunjukkan ada kenaikan sehingga hasilnya belum konvergen.



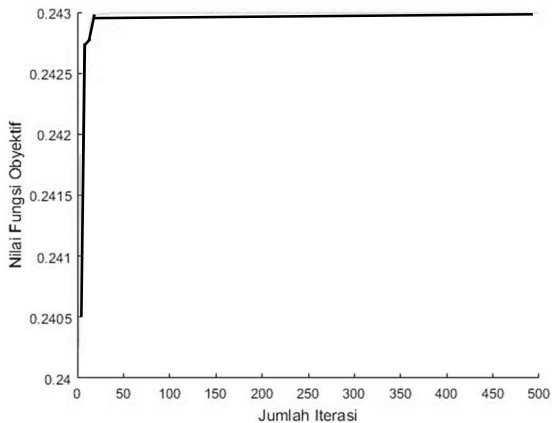
Gambar 4.3 Nilai fungsi objektif pada saat 50 kali iterasi

Pada gambar 4.3, iterasi yang digunakan adalah 50, hasilnya hampir sama seperti pada 20 iterasi, sehingga iterasi perlu ditingkatkan lagi agar hasil dari grafik bisa konvergen.



Gambar 4.4 Nilai fungsi objektif pada saat 100 kali iterasi

Oleh karena itu, dicoba lagi dengan iterasi sebanyak 100 dan 500 kali seperti yang dilihat pada Gambar 4.4 dan 4.5



Gambar 4.4 Nilai fungsi objektif pada saat 500 kali iterasi

Hasilnya adalah besarnya nilai fungsi objektif atau *fitness* pada 500 iterasi didapatkan *fitness* yang maksimal dibandingkan dengan *fitness* pada jumlah iterasi lain. Oleh karena itu, untuk optimisasi penelitian ini digunakan iterasi sebanyak 500.

Dilakukan 10 kali *running* program optimasi pada MATLAB R2016a untuk mendapatkan hasil yang akurat. Tabel 4.4 menunjukkan nilai – nilai dari hasil optimasi.

Kemudian dari hasil optimisasi didapatkan nilai variabel optimum yaitu tekanan pada wellhead sebesar 12.56 bar dan tekanan separator sebesar 11.42 bar.

Tabel 4.4 Data hasil optimisasi

Optimasi ke-	P _{wellhead}	P _{separator}	Efisiensi Eksergi Overall
	bar	Bar	
1	12.56	11.42	24.3%
2	12.15	11.55	24.24%
3	12.26	11.04	24.3%
4	12.56	11.42	24.3%
5	12.56	11.42	24.3%
6	12.12	11.35	24.3%
7	12.83	11.24	24.3%
8	12.45	11.21	24.3%
9	12.10	11.55	24.3%
10	13.19	11.66	24.3%

4.3 Perhitungan Ulang Efisiensi Eksergi Overall

Setelah didapat nilai variabel desain optimum, maka dilakukan perhitungan ulang nilai efisiensi eksergi *overall*. Perhitungan dilakukan sesuai dengan persamaan 2.13

$$W_{nett} = 5.8559 * 10^5 - 4.4300 * 10^5$$

$$\eta_{overall} = \frac{1.4229 * 10^5}{5.8559 * 10^5} \cdot 100\%$$

$$\eta_{overall} = 24.3\%$$

Pada perhitungan efisiensi eksergi *overall* dengan menggunakan tekanan optimum pada *wellhead* dan separator, total *exergy loss* mengalami penurunan menjadi 444760 kW, sehingga efisiensi eksergi *overall* mengalami kenaikan yaitu dari 23.95% menjadi 24.3%. Kenaikan efisiensi *overall* yang terjadi yaitu sekitar 0.35 %.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut ini kesimpulan yang dapat diambil dalam pengerjaan tugas akhir ini, yaitu sebagai berikut:

- Nilai *exergy loss* terbesar terdapat pada kondenser sebesar 199618.30 kW atau 34.09% dan pada *cooling tower* sebesar 219657.46 kW atau 37.51%.
- Constraint didapatkan dari kondisi operasi proses dan data desain, yaitu 12-14 bar pada *wellhead* dan 8.5-12 bar pada separator.
- Nilai variabel optimum yang didapatkan dari hasil optimasi *genetic algorithm* sebanyak 500 iterasi adalah 12.56 bar pada *wellhead* dan 11.42 bar pada separator.
- Perhitungan nilai efisiensi eksergi *overall* dengan menggunakan nilai variabel optimum mengalami kenaikan sebesar 0.35%

5.2 Saran

Hal yang dapat disarankan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

- Perlu dilakukan optimasi ulang ketika terdapat perubahan sumur produksi pada PLTP Wayang Windu karena karakteristik setiap sumur berbeda.
- Perlu dilakukan optimasi variabel pada kondenser dan *cooling tower*.
- Perlu dilakukan optimasi dengan metode selain *genetic algorithm* agar dapat dilakukan perbandingan.

“Halaman ini memang dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- [1] DiPippo. R, "Geothermal Power Plants: Principles, Application and Case Studies", 2006.
- [2] Yildrum. O, Gulden. G, "Performance Analysis of Single-Flash Geothermal Power Plants: Gas Removal System Point of View", 2010.
- [3] Kwanbai. C.B, "Exergy Analysis of Olkaria I Power Plant", 2011.
- [4] Dagdas. A, Bekdemir. R, "Thermodynamic Evaluation of Denizle Kizildere Geothermal Power Plant and Its Performance Improvement.", 2004.
- [5] Moran. J, Shapiro. N, "Fundamental of Engineering Thermodynamics", 2006.
- [6] Ganjehsarabi. H, Dincer. I, "Exergoeconomic Evaluation of a Geothermal Power Plant", 2014.
- [7] Greco. S, Miottonon. K, "Learning in Multiobjective Optimization", 2012.
- [8] Syah. Z, Kajo. J, "Project Development of The Wayang Windu Unit 2 Geothermal Power Plant", 2010.
- [9] Swandaru. R, "Modelling and Optimization of Possible Bottoming Unit for General Single Flash Geothermal Power Plant", 2010.
- [10] Yildrum. O, Gulden. G, "Performance Analysis of Single-Flash Geothermal Power Plants: Gas Removal System Point of View", 2010.

- [11] Pambudi. N. A, Itoi. R, Jalilinasrabady. S, "Exergy Analysis and Optimization of Dieng Single-Flash Geothermal Power Plant", 2013.
- [12] Radmehr. B. Jalilinasrabady. S, "Modelling of the Single-Flash and Double Flash Cycle and Comparing Them for Power Generation in Sabalan Geothermal Field, Iran, 2015.
- [13] Balqis. E.R, Indriawati. K., "Optimasi Daya listrik pada PT Pertamina Geothermal Energy Area Kamojang, Jawa Barat", 2012.

LAMPIRAN A

Script Fungsi Objektif

```
function effex=f_obj(x)
%pemodelan
p1=x(1);
p2=x(2);

%====data pada setiap titik=====

%Tekanan (Bar)
pwell=12.1;
p3=p2-0.8;
p4=p3-0.3;
p4a=p3-0.5;
p5=0.1;
p6a=1.8;
p6b=0.2;
p7=0.3;
p8=0.1;
p0=0.7;
p9=0.7;

%Temperatur (Celcius)
t0=16;
twell=196.6;
t1=189;
t2=186.7;
t3=183.8;
t4=182.8;
t4a=182.6;
t5=49.5;
t6a=44;
t6b=26.5;
t7=28;
t8=39.8;
t9=80;

%Mass flow (kg/s)
mwellmax=235;
```

```

mwell=221.98;
m1=mwellmax*(sqrt(1-(p1/36)^2))
m2=0.994*m1;
m3=0.993*m2;
m4=0.961*m3
m4a=0.045*m3;
m5=m4;
m6a=4200;
m6b=4;
m7=4971;
m8=140;
m9=4;

%specific entrophy setiap titik (kJ/kg.K)
s0=0.2390;
swell=XSteam('s_pT',pwell,twell);
s1=XSteam('s_pT',p1,t1);
s2=XSteam('s_pT',p2,t2);
s3=XSteam('s_pT',p3,t3);
s4=XSteam('s_pT',p4,t4);
s4a=XSteam('s_pT',p4a,t4a);
s5=s4+0.2;
s6a=XSteam('s_pT',p6a,t6a);
s6b=XSteam('s_pT',p6b,t6b);
s7=XSteam('s_pT',p7,t7);
s8=XSteam('s_pT',p8,t8);
s9=XSteam('s_pT',p9,t9);
sctin=XSteam('s_pT',0.7,16);
sctout=XSteam('s_pT',0.7,31);

%specific enthalpy setiap titik (kJ/kg)
h0=67.2377;
hwell=XSteam('h_pT',pwell,twell);
h1=XSteam('h_pT',p1,t1);
h2=XSteam('h_pT',p2,t2);
h3=XSteam('h_pT',p3,t3);
h4=XSteam('h_pT',p4,t4);
h4a=XSteam('h_pT',p4a,t4a);
h5=XSteam('h_ps',p5,s5);

```

```

h6a=XSteam('h_pT',p6a,t6a);
h6b=XSteam('h_pT',p6b,t6b);
h7=XSteam('h_pT',p7,t7);
h8=XSteam('h_pT',p8,t8);
h9=XSteam('h_pT',p9,t9);
hctin=XSteam('h_pT',0.7,16);
hctout=XSteam('h_pT',0.7,31);

%exergy rate di setiap titik
exin=mwell*(hwell-h0-t0*(swell-s0))
ex1=m1*((h1-h0)-t0*(s1-s0));
ex2=m2*((h2-h0)-t0*(s2-s0));
ex3=m3*((h3-h0)-t0*(s3-s0));
ex4=m4*((h4-h0)-t0*(s4-s0));
ex4a=m4a*((h4a-h0)-t0*(s4a-s0));
ex5=m5*((h5-h0)-t0*(s5-s0));
ex6a=m6a*((h6a-h0)-t0*(s6a-s0));
ex6b=m6b*((h6b-h0)-t0*(s6b-s0));
ex7=m7*((h7-h0)-t0*(s7-s0));
ex8=m8*((h8-h0)-t0*(s8-s0));
ex9=m9*((h9-h0)-t0*(s9-s0));
exctin=179*((hctin-h0)-t0*(sctin-s0));
exctout=179*((hctout-h0)-t0*(sctout-s0));
wturb=m4*(h4-h5);

%exergy loss pada wellhead
exl1=exin-ex1;
%exergy loss pada separator
exl2=ex1-ex2;
%exergy loss pada scrubber
exl3=ex2-ex3;
%exergy loss pada turbin
exl4=ex4-ex5-wturb;
%exergy loss pada condenser
exl5=ex5-(ex6a+ex6b)+ex8+ex7;
%exergy loss pada cooling tower
exl6=ex6a-ex7+exctin-exctout;
%exergy loss pada GRS
exl7=ex4a+ex6b-ex8-ex9;

```

```
%eksergi output/exergi loss
exout=exl1+exl2+exl3+exl4+exl5+exl6+exl7
Exloss = {'Komponen', 'Exergy loss';
'Wellhead' exl1; 'separator' exl2;
'scrubber' exl3; 'Turbin' exl4; 'condenser'
exl5; 'CT' exl6; 'GRS' exl7; 'exout' exout}

%efisiensi
effex=(exin-exout)/(exin);
```

LAMPIRAN B

Script Genetic Algorithm

```
clear all
close all
%GENETIC ALGORITHM%
%Parameter
Npop = 20;           %populasi
Maxit = 500;         %iterasi
el    = 0.95;         %elitism
Pc    = 0.8;          %probabilitas crossover
Pm    = 0.01;         %proposal mutasi
rb    = [12 8.5];     %batas bawah
ra    = [14 12];     %batas atas
Dimension = 2;        %jumlah variabel yang
dioptimasi
Nbit  = 10;           %jumlah bit

eBangkit      = [];
Individu      = [];
eIndividu     = [];
david        = [];
Dadatfit      = [];
Datfit        = [];
summary       = [];
eDadatfit     = [];
efitness      = [];
efitnessmax   = [];
eIndividuMax  = [];

Bangkit = round(rand(Npop,Nbit*Dimension));
popsize = size(Bangkit,1);

for i = 1:Dimension
    batas(i) = ra(i)-rb(i);
end
for i = 1:Npop
    for j = 1:Dimension
        Desimal(i,j) =
binaryVectorToDecimal(Bangkit(i,((j*Nbit)-(
(Nbit-1)):(j*Nbit)),'LSBFirst'));
```

```

        Individu(i,j) =
        (Desimal(i,j)*batas(:,j)-
        batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
variabel = [];
for i = 1:size(Individu,1)
    fitness = f_obj(Individu(i,:)); %
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax]=max(Datfit);
end

Dadatfit = [];
for generasi=1:Maxit
    disp('GA processing')
    clear command windows
    clear command history
    clear memory

    if generasi > 1
        sort_fit =
        sortrows(sort,Nbit*Dimension+1);
        Individul = sort_fit(round((1-
        el)*Npop+1):Npop,:);
        remain =
        sort_fit(round(el*Npop)+1:Npop,:);

        X = Individul;
        M = size(X,1);

        sumfitness = sum(Datfit);
        for i=1:M
            Prob(i) = Datfit(i)/sumfitness;
        end
        for i=2:M
            Prob(i) = Prob(i)+Prob(i-1);
        end
        for i=1:M
            n=rand;

```

```

        k=1;
        for j=1:M-1
            if (n>Prob(j))
                k=j+1;
            end
        end
        Xparents(i,:) = X(k,:);
    end

%Crossover
    [M,d] = size(Xparents);
    Xcrossed = Xparents;
    for i=1:2:M-1
        c=rand;
        if (c<=Pc)
            p=ceil((d-1)*rand);
            Xcrossed(i,:) =
[Xparents(i,1:p) Xparents(i+1,p+1:d)];
            Xcrossed(i+1,:) =
[Xparents(i+1,1:p) Xparents(i,p+1:d)];
        end
    end
    if (M/2~=floor(M/2))

        c=rand;
        if (c<=Pc)
            p=ceil((d-1)*rand);
            str=ceil((M-1)*rand);
            Xcrossed(M,:) =
[Xparents(M,1:p) Xparents(str,p+1:d)];
        end
    end

%Mutasi
    [M,d] = size(Xcrossed);
    Xnew=Xcrossed;
    for i=1:M
        for j=1:d
            p=rand;
            if (p<=Pm)
                Xnew(i,j)=1-Xcrossed(i,j);
            end
        end
    end

```

```

        end
    end
end

disp('New fitness calculation');

Bangkit =
[Xnew(:,1:Nbit*Dimension);remain(:,1:Nbit*Dimension)];
end
eBangkit = [eBangkit; Bangkit];

for i =1:Npop
    for j = 1:Dimension;
        Desimal(i,j) =
binaryVectorToDecimal(Bangkit(i,((j*Nbit)-(
(Nbit-1)):(j*Nbit)),'LSBFirst'));
        Individu(i,j) =
(Desimal(i,j)*batas(:,j)-
batas(:,j)+rb(:,j)*(2^Nbit-1))/(2^Nbit-1);
    end
end

Datfit = [];
for i = 1:Npop
    fitness = f_obj(Individu(i,:));
    Datfit = [Datfit;fitness];
    [fitemax,nmax] = max(Datfit);
end

Dadatfit = Datfit;
eDadatfit = [eDadatfit;Dadatfit];
eIndividu = [eIndividu;Individu];
[fitnessmax,nmax] = max(eDadatfit);
efitnessmax = [efitnessmax;fitnessmax];
BangkitMax = eBangkit(nmax,:);
IndividuMax = eIndividu(nmax,:);
eIndividuMax = [eIndividuMax;IndividuMax];
BangkitMaxlast = BangkitMax;
schedmax = BangkitMax;
sort = [Bangkit Dadatfit];

```



```

        summary = [summary; sort];
        david = [david; Dadatfit];
    clc
    max_variable_design=eIndividuMax(1,:)
    max_objective_function=fitness(1,:)
    figure(gcf)
    title('Grafik Nilai Maksimum GA','color','b')
    xlabel('Jumlah Iterasi')
    ylabel('Nilai Fungsi Obyektif')
    hold on
    plot(efitnessmax, 'DisplayName',
        'efitnessmax', 'YDataSource', 'efitnessmax');
    hold on
    end
    save ('GA.mat')

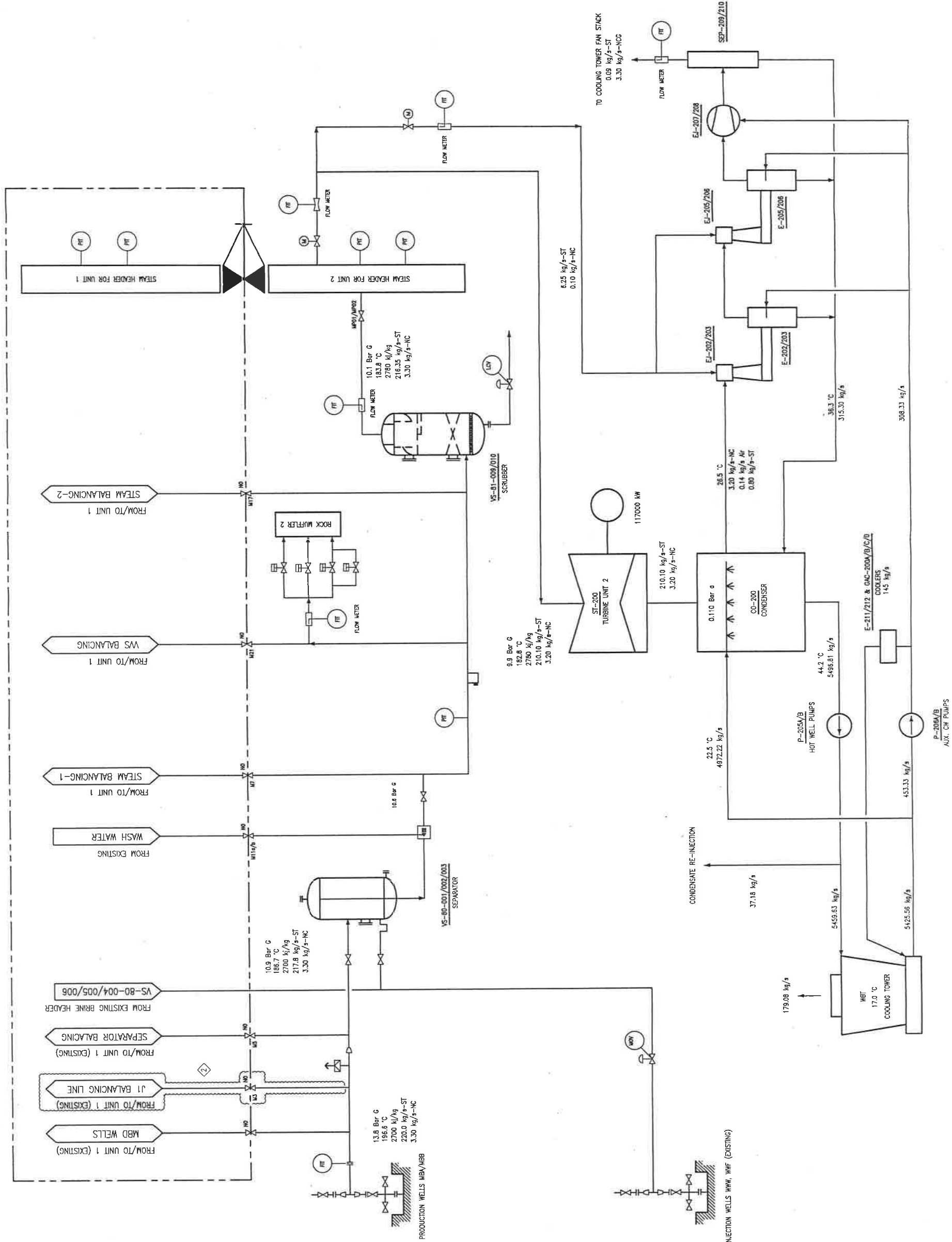
```

LAMPIRAN C
Process Flow Diagram PLTP

NO COMMENT

NOTES :

1. SAGS MASS BALANCE ENTHALPY DESIGN IS 2700 KJ/Kg
2. ATMOSPHERIC PRESSURE IS 0.8 BAR.
3. FLOW IS CALCULATED BASED ON VAPOUR PHASE (STEAM ONLY).



1	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
2	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
3	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
4	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
5	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
6	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
7	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
8	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
9	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
10	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
11	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
12	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
13	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
14	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
15	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
16	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
17	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
18	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
19	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
20	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
21	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
22	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
23	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
24	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
25	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
26	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
27	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
28	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
29	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
30	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
31	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
32	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
33	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
34	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
35	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
36	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
37	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
38	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
39	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
40	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
41	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
42	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
43	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
44	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
45	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
46	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
47	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
48	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
49	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
50	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
51	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
52	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
53	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
54	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
55	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
56	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
57	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
58	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
59	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
60	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
61	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
62	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
63	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
64	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
65	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
66	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
67	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
68	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
69	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
70	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
71	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
72	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
73	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
74	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
75	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
76	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
77	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
78	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
79	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
80	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
81	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
82	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
83	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
84	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
85	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
86	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
87	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
88	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
89	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
90	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
91	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
92	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
93	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
94	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
95	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
96	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
97	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
98	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
99	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT
100	AS BUILT	16/04/08	ENR	TZ	JAN	RT

FILE: VV2-MP-01-041-2

BIODATA PENULIS



Muhammad Bintang Adhitya, lahir di Tangerang, 13 Desember 1995, sebagai anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis pernah menempuh Pendidikan dasar di SDIT Al-Manar, kemudian menempuh bangku Pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Bekasi, lalu melanjutkan studi ke jenjang menengah atas di SMA Negeri 1 Bekasi, dengan mengambil jurusan IPA. Hal inilah yang pada akhirnya mendorong penulis untuk melanjutkan studinya di Departemen Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Penulis juga aktif di kegiatan organisasi sejak SMA, terlebih pada bangku kuliah. Penulis pernah menjabat sebagai pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (HMTF-ITS) di Departemen Hubungan Luar. Kemudian, penulis juga aktif menjadi anggota Laboratorium Rekayasa Energid an Pengkondisian Lingkungan. Selain itu masih banyak kegiatan keorganisasian yang diikuti selama di bangku kuliah, karena penulis memang passion untuk bekerja dalam tim. Namun dengan tidak meninggalkan jiwa akademiknya, penulis mampu mempertahankan Indeks Prestasi (IP) berada diatas 3.0 hingga mampu lulus S1 selama delapan semester dengan baik.